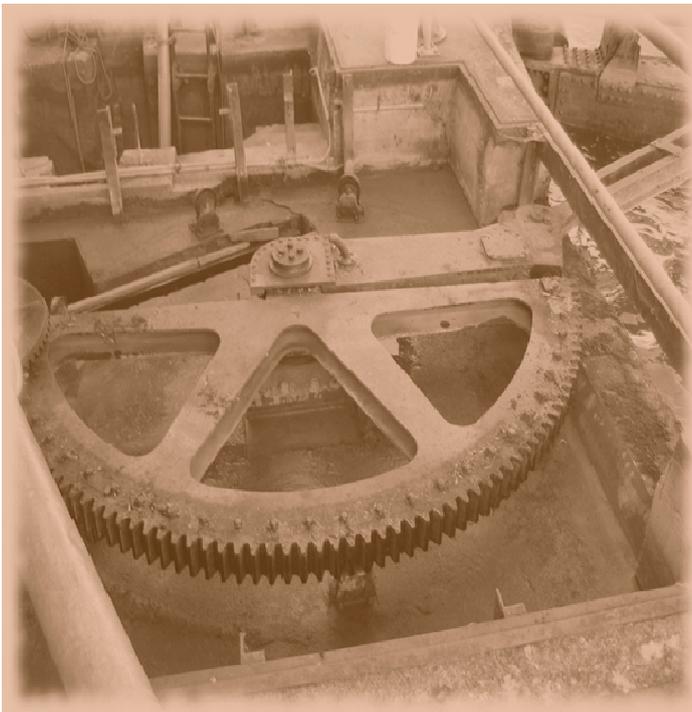


Standard-Lösungen für Antriebssysteme der Schleusentore und der Schützverschlüsse – Vergleich von Konstruktionsvarianten

Michael Schröder, FMSW Koblenz
Steffen Bleidißel, FMS Nürnberg

Entwicklung der Antriebstechnik

Seit Beginn der 50er Jahre hat sich als Antriebsprinzip zum Öffnen und Schließen von Stemmtorflügeln der Linearantrieb durchgesetzt. Die damals üblichen mechanischen Antriebssysteme, bestehend aus zentraler Antriebsstation mit offenen Antriebswellen, Getriebestufen und Zahnsegmenten wurden sukzessiv vom Linearantrieb abgelöst.



Zahnsegment eines alten Stemmtorantriebs am Main



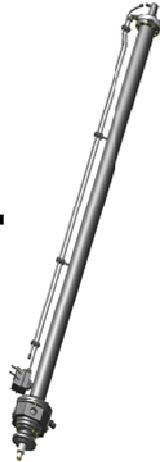
Stationäres ölhydraulisches Aggregat

Bis in die 90er Jahre wurden ausschließlich stationäre Hydraulikaggregate für einen oder mehrere elektrohydraulische Linearantriebe eingesetzt. Sie bestanden im Wesentlichen aus Antriebsmotor, Pumpe, Tankanlage, Hydraulikventilen, Armaturen und Filtersystemen. Die einzelnen Hydraulikzylinder wurden über feste Rohrleitungen mit Hydrauliköl versorgt.

Erst wenige Jahre vor der Jahrtausendwende konnte die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) im zunehmenden Maße hydraulische Kompaktantriebe und Elektrohubzylinder für die Bewegung von Stahlwasserbauteilen verwenden.



+



Kompaktantrieb mit Hydraulikzylinder

Elektrohubzylinder mit Antrieb

Der **hydraulische Kompaktantrieb** zeichnet sich durch seine kompakte Bauweise, Bauteilevereinfachung, -minimierung, und -reduzierung auf das funktional erforderliche Maß aus. So konnte z.B. das Hydraulikmedium, hier nichtwassergefährdendes biologisch abbaubares Öl, auf ein beeindruckendes Minimum reduziert werden. Außerdem sind bei diesem druckwasserdichten und damit überflutbaren Antrieb Ölwechsel und Ölentfeuchtung innerhalb der Mindestlebensdauer von 35 Jahren nicht mehr erforderlich.

Im Reparaturfall kann das Antriebsaggregat durch Lösen von Schnellkupplungen an den Druckleitungen und der elektrischen Steckverbindungen in nur wenigen Minuten, selbst in Einkammerschleusen fast ohne Beeinträchtigung der Schifffahrt, abgekoppelt und ersetzt werden. Aufgrund dieser sehr hohen Flexibilität wurde dieser Antrieb bereits ca. 300-mal an Schiffsschleusen eingebaut.

Beim **Elektrohubzylinder** wird rein mechanisch das Drehmoment des Antriebmotors über ein Untersetzungsgetriebe auf eine Antriebsspindel übertragen. Die Hubmutter wandelt die Drehbewegung in eine Längsbewegung für den Hubvorgang der Kolbenstange um. Der Antriebszylinder mit direkt angeflanschem Antriebsmotor wurde zu einer kompakten Baueinheit zusammengefasst. Analog zur Ausführung der Kompakthydraulik dienen zwei Steckverbindungen zur Versorgung von Leistungs- und Regelstrom, welche direkt am Antriebszylinder angeordnet sind. Die druckwasserdichte Ausführung des Elektrohubzylinders gewährleistet den dauerhaften Einsatz in einer hochwassergefährdeten Stemmtorantriebsgrube. Für größere Reparaturen oder zur werkseitigen Revision wird er - analog zum Hydraulikzylinder - aus der Antriebsgrube herausgehoben und zum Bauhof bzw. ins Werk transportiert. Dieser Antriebstyp wird in mehreren Direktionsbereichen der WSV eingesetzt.

Nach welchen Kriterien sollte der Antriebstyp bei einer Neu- oder Ersatzbeschaffung innerhalb eines Instandsetzungsbereiches ausgewählt werden?

Die Entscheidung zu einem Antrieb ergibt sich aus Anforderungen zur Wirtschaftlichkeit, Sicherheit und Funktionalität. Folgende Kriterien können dabei die Entscheidungsfindung erleichtern:

- niedrige Kosten für Beschaffung, Betrieb und Unterhaltung,
- hohe Verfügbarkeit des Antriebs - Zuverlässigkeit, Störungsfreiheit,
- schnelle und leichtgängige Austauschbarkeit im Havarie- und Wartungsfall,
- geringer Prüfaufwand für die planmäßige Unterhaltung und Anlageninspektion,
- Anforderungen zur Sicherheit nach Maschinenrichtlinie,
- Bautypengleichheit innerhalb eines Instandhaltungsbereiches des Bauhofs bzw. der maschinentechnischen Fachstelle (z.B. Länge und Kraft),
- minimaler Schulungsaufwand,
- minimale Ersatzteilverhaltung im Regiebetrieb,
- garantierte Lagerhaltung der Industrie über langen Zeitraum,
- Vereinfachung der Anlagenstruktur mit möglichst vielen Normteilen,
- Funktionsorientierte Anwendung und Auslegung von Vorschriften,
- Schnittstellen - Chancengleichheit für mehrere Bieter am Markt,
- hohes Leistungsspektrum,
- hohes Stoßabsorptionsverhalten,
- Marktgröße bei Vergabe von Reparaturen,
- Mindestlebensdauer von 35 Jahren,
- Überflutbarkeit bei Hochwasser,
- Umweltverträglichkeit,
- Montageaufwand inklusive Hoch- und Tiefbau,
- guter Wirkungsgrad und hohe Energieeffizienz.

Warum konnte im Bereich der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Süd eine so schnelle und konsequente Standardisierung erreicht werden?

Im Bereich der WSD Süd wurden in den letzten 12 Jahren fast alle Schleusenammern in die Fernbedienung eingebunden. Zuvor wurde i.d.R. die Antriebstechnik nach einheitlichem Standard erneuert.

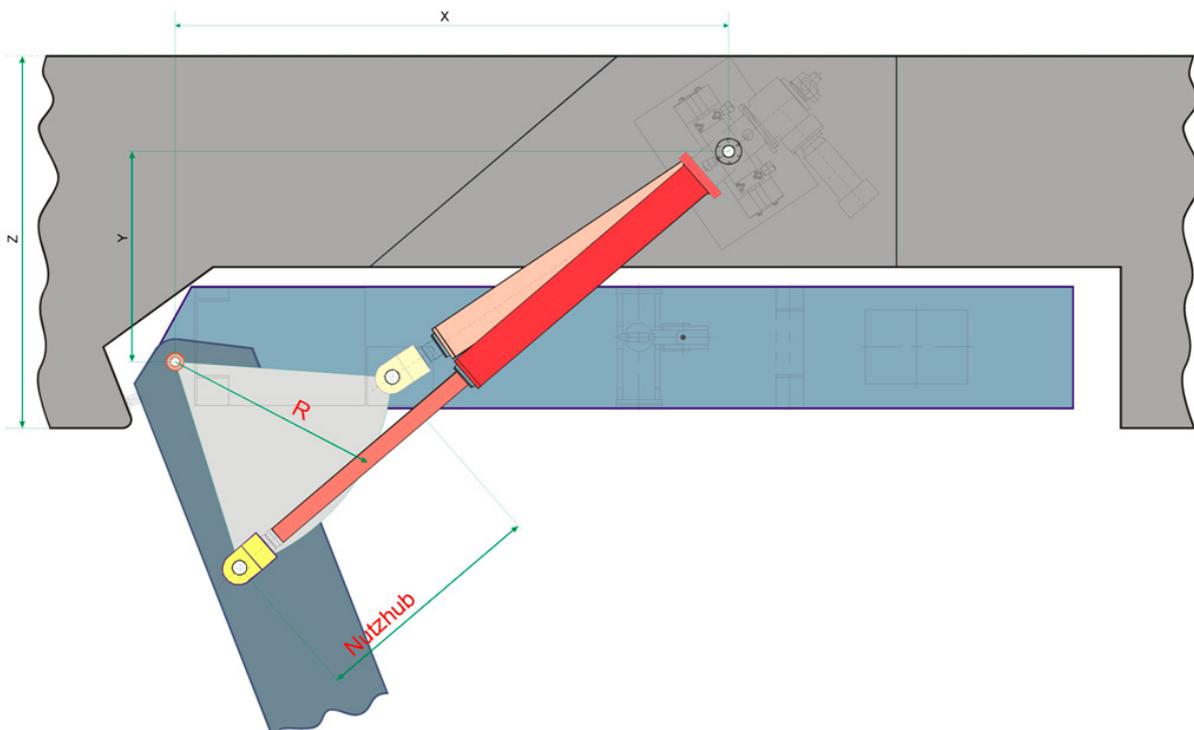
Voraussetzungen dafür waren:

- fester Standardisierungswille der maschinentechnischen Fachstelle und der WSD,
- Zielvereinbarung zur Umsetzung bei zuverlässiger Haushaltsmittelbereitstellung,
- fester Standardisierungswunsch der Anlagenbetreiber (WSÄ) und Anlagenunterhalter (BHf'e)

- Erstellung von Pflichtenheften und Musterausschreibungen,
- grundsätzliches Festhalten an Musterausschreibungen - über 10 Jahre hinweg,
- zügige Projektbearbeitung - mehrere Großprojekte pro Mitarbeiter im Jahr, um nicht in die nächste technische Evolutionsepoche zu „stolpern“,
- Einbinden des Anlagenbetreibers und des Anlagenunterhalters in die technischen Planungen,
- Einbindung der anlagenkundigen Bauhöfe in die Bauüberwachung bei der Projektabwicklung und
- zeitnahe Einbindung der Arbeitssicherheitsstelle.

Betrachtungen zum Stemmtorantrieb

Wahlweise elektrohydraulisch oder elektromechanisch angetrieben überträgt der kardanisch gelagerte Stemmtorzylinder seine Hubbewegung über einen Gelenkanschluss vom Ende der Kolbenstange auf den jeweils axial gelagerten Stemmtorflügel. Dabei bewegt sich der Gelenkkopf auf einer Kreisbahn zwischen der Öffnungs- und Schließstellung und erzeugt somit für den Stemmtorflügel die erforderliche Drehbewegung.



Einbausituation des Stemmtorzylinders

Seit über 10 Jahren sind Antriebe in kompakter Bauweise innerhalb der WSV in Anwendung. Angepasst an das Anforderungsprofil der Betreiber werden diese neuen Antriebssysteme unter Berücksichtigung des regionalen Standards u.a. am Main, am Main-Donau-Kanal, an der Donau, am Neckar und an der Mosel als hydraulischer Kompaktantrieb oder als Elektrohubzylinder eingesetzt. Dem Standard entsprechend lässt sich der Antrieb an jeder beliebigen Schleuse der jeweiligen Wasserstraße einbauen, bzw. durch einen typengleichen Antrieb ersetzen.

Eingebunden in das Konzept der planmäßigen Unterhaltung der jeweils zuständigen Bauhöfe weisen beide Antriebssysteme einen optimierten Wartungsaufwand auf. Begünstigt wird dies durch eine geringe Anzahl von Schnittstellen. Zudem verfügen sie über nur wenige, fast ausschließlich genormte Maschinenelemente und verzichten auf überflüssige Sensorik.

Insgesamt lässt sich auch in wirtschaftlicher Hinsicht, unter Betrachtung der Investitions- und Wartungskosten über die Gesamtlebensdauer beider Antriebssysteme, kein signifikanter Unterschied feststellen. Beide Antriebssysteme sind gleichwertig und weisen lediglich systembedingte Unterschiede auf. Abgestimmt auf die unterschiedliche Infrastruktur vom Schleusenbestand und der jeweils betreuenden Bauhöfe im Unterhaltungsabschnitt resultieren hieraus jeweils erhebliche Vorteile. Diese würden im Falle eines vorgeschriebenen Systemwechsels zu Nichte gemacht.

Eingeschränkt gilt die wirtschaftliche Gleichwertigkeit ebenfalls für die konventionelle Ausführung von Hydraulikaggregaten, wenn sie stationär in einem Betriebsgebäude aufgestellt werden und neuerer Bauart sind. Allerdings wurden in den bisherigen Betrachtungen keine bautechnischen Kosten, insbesondere bei hochwassergeschützter Ausführung, berücksichtigt.

Im Vergleich hierzu entfällt beim hydraulischen Kompaktantrieb und beim Elektrohubzylinder konstruktionsbedingt die Notwendigkeit eines zusätzlichen Hochbaus.

Dimensionierung und Schnittstellen des Stemmtorantriebs

Die Antriebsdimensionierung erfolgt auf Grundlage der Ermittlung der erforderlichen Antriebskraftverläufe für die einzelnen Betriebsfälle. Hier wird die maßgebende Schleuse für das maximale Lastkollektiv noch zu ermitteln sein. Zusätzlich zu den lokalen und bautechnischen Einflussfaktoren ist die vorgesehene Fahrweise für die Dimensionierung der Antriebskräfte ausschlaggebend.

Für den Normalbetriebsfall wird im ersten Schritt das Spannungsfeld der Antriebskraftdimensionierung betrachtet. Einerseits bewirken größere Antriebskräfte einen schnelleren Schleusungsvorgang. Andererseits ist es möglich mit Hilfe einer geeigneten Antriebsregelung, z.B. durch Einbindung eines Frequenzumrichters, die erforderlichen Antriebskräfte erheblich zu reduzieren. Damit werden eine bessere Energiebilanz und geringere Verschleißeinwirkungen, zu Lasten einer unbedeutenden Verlangsamung der Schleusungsgeschwindigkeit, erzielt. Aus dieser Betrachtung heraus wird das Betriebsoptimum festgelegt.

Ebenfalls ist ein standardisierter Anstellwinkel für den Stemmtorzylinder noch festzulegen.

Somit lässt sich die Einbaugeometrie für den standardisierten und universell an allen dafür vorgesehenen Schleusen einsetzbaren Stemmtorzylinder definieren. Sie gilt gleichermaßen für die elektrohydraulische, als auch für die elektromechanische Kraftübertragung.

Aufbauend auf die vorangenannten Festlegungen erfolgt das Dimensionieren der nachfolgenden Schnittstellen:

- Schnittstelle des Gelenkkopfes der Kolbenstange für die Krafteinleitung in den Torbolzen,
- Schnittstelle der beiden Lagerbolzen am Antriebszylinder für die Krafteinleitung in die kardanische Lagerung in der Antriebsgrube,
- erforderliche Hublänge des Antriebszylinders inklusive dem Gesamtabstand zwischen Tor- und Zylinderbolzen,
- Abmessungen der „Hüllenkontur“ des Antriebszylinders, insbesondere im rückwärtigen Bereich der kardanischen Lagerung und
- Schnittstellen für die Steckverbindungen von Leistungs- und Regelstromkabel bzw. Schlauchkupplungen für die hydraulische Verrohrung.

Diese Schnittstellen bilden die Grundlage für einen zu entwickelnden „Standardausschreibungstext“. Ergänzt wird er durch die antriebstechnischen Vorgaben für die Funktionsgruppen/ Maschinenelemente von Stemmtorzylinder und Antrieb. Somit ist gewährleistet, dass der standardisierte Stemmtorzylinder produktneutral im Rahmen der öffentlichen Ausschreibung angeboten werden kann.

Die gleiche Vorgehensweise hinsichtlich Kompatibilität, Schnittstellenbeschreibung und Ausschreibung wird auf die nachstehend aufgeführten Schütz- und Drucksegmentantriebe angewandt.

Betrachtungen zum stemmtorintegrierten Schützenantrieb

Das Entleeren der Schleusenammer erfolgt unterhauptseitig über die torintegrierten Schütze. Favorisiert werden derzeit paarweise in einem Stemmtorflügel angeordnete Segmentschütze. Diese sind verbunden über eine gemeinsame Hebelkinematik, die an einem Segmentschützzylinder angeschlossen ist. Die Hubbewegung wird vom Segmentschützzylinder im oberen Torbereich auf die nach unten geführte Hebelkinematik zum Öffnen und Schließen der Schütze übertragen.

Anders als beim Stemmtorantrieb basiert hier die Dimensionierung der erforderlichen Zug- und Druckkräfte auf das Einpressen der Segmentschützdichtungen.

Betrachtungen zum Antrieb des Drucksegmenttors

Analog zum Stemmtor- und Segmentschützenantrieb wird die Drehbewegung des standardisierten Drucksegmenttors ebenfalls mit einem Antriebszylinder erfolgen.

Im Unterschied zu den bisherigen Ausführungen ist als Novum in der WSV eine horizontale Lagerung des Antriebszylinders auf der Planie vorgesehen. Der auf eine horizontal gelagerte Antriebscheibe wirkende Gelenkkopf der Kolbenstange erzeugt eine 90°-Drehung. Mit dieser Antriebscheibe verbunden, wird der Torkörper von der vertikalen Staustellung in die horizontale Durchfahrtslage bzw. umgekehrt geschwenkt.

Der Befüllvorgang der Schleusenammer erfolgt während des Öffnungsvorganges des Drucksegmenttores über einen Drehwinkel bis zur 20°-Stellung. Mit kontinuierlicher Drehwinkelgeschwindigkeit vergrößert sich der Drehwinkel zum Befüllen der Kammer über die torintegrierte Füllmuschel bis zum Erreichen des Oberwasserpegels. Hierfür ist eine langsame Drehwinkelgeschwindigkeit vorgesehen. Das anschließende Weiterdrehen des Tores in die Tiefstlage sowie das Schließen des Tores erfolgen mit einer bis zu ca. 40-fach größeren Drehwinkelgeschwindigkeit, mittels einer Regelung durch den Frequenzumrichter.

Als ein weiterer Betriebsfall ist das Öffnen und Schließen des Tores im Hochwasserfall vorzusehen. Die hierfür erforderlichen Drehwinkel entsprechen denen des Öffnens und Schließens. Es variieren lediglich die notwendigen Antriebskräfte sowie das Geschwindigkeitsspektrum.

Dem entgegen unterscheidet sich der Drehvorgang zum Anfahren der Torreparaturstellung. Analog zu vergleichbaren Ausführungen von linear angetriebenen Drucksegmenttoren muss zum Weiterdrehen des Tores von der Staustellung aus in die Reparaturstellung der Gelenkkopf des Antriebszylinders gelöst und „umgeschlagen“ werden. Hierzu wird die in der Torschließstellung eingefahrene Kolbenstange vom zuvor arretierten Tor gelöst und anschließend mit einem Leerhub wieder ausgefahren. Über eine zusätzliche Bolzenverbindung, direkt am Torkörper, zieht die Kolbenstange das Tor danach in die Reparaturstellung.

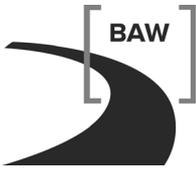
Die Auslegung der notwendigen Antriebskraft/ Drehwinkelverläufe für die einzelnen Betriebsfälle erfordert neben den theoretischen Ansätzen eine Auswertung von Naturversuchen und praktischen Erfahrungen vergleichbarer Anlagen.

Ausblick

Durch die Definition der geometrischen und funktionalen Schnittstellen für den standardisierten Antrieb wird Raum für die fortwährend stattfindende technische Evolution geschaffen.

Somit wird der Stand der Anlagentechnik in der WSV nicht für Jahrzehnte „eingefroren“, sondern vielmehr für nutzbringende technische Weiterentwicklungen geöffnet.

Aus den Erfahrungen der Vergangenheit lässt sich ableiten, dass innerhalb des angedachten Nutzungszeitraumes von 70 Jahren im Bereich des Stahlwasserbaus die Antriebstechnik sich auch zukünftig umwälzenden Veränderungen unterwerfen muss.



Für diesen Fall gilt es einerseits Schnittstellenanpassungen durchzuführen und andererseits auch eine Abwärtskompatibilität von Antrieben zukünftiger Generationen auf den dann vorliegenden Altbestand an Toren und Verschlüssen herzustellen.

Hierbei stehen die Fachstellen für Maschinenwesen in besonderer Verantwortung, da nur sie die Möglichkeit haben, einen mit den Bauhöfen abgestimmten Standard über komplette Fluss- und Kanalstrecken erfolgreich um- und durchzusetzen.

Basierend auf den bisherigen Erfahrungen wird sich der zukünftig bundesweit standardisierte Stemmtorantrieb, voraussichtlich auf maximal zwei Baugrößen, mit unterschiedlichen Antriebskräften und Baulängen, beschränken. Wahlweise können die Stemmtorzylinder elektrohydraulisch oder elektromechanisch betrieben werden.